

堆積物分布からみた日野川・皆生海岸流砂系における 過去 400 年間の環境変遷

井上卓彦* ・米田明德**・原口 強***
五十嵐厚夫****・井内美郎*****

鳥取県皆生海岸では、離岸堤群が完成するまで海岸線の後退が続いた。長期的に海岸を保全するには、海岸の土砂動態と長期的な変遷過程を解明する必要がある。そのために、日野川流域および皆生海岸で表層堆積物を採取し、また現在の侵食域と堆積域それぞれの沿岸海域でジオスライサーを用いて柱状試料を採取し、粒度分析・鉱物組成分析・花粉分析と放射年代測定（炭素-14 と鉛-210）を組み合わせ、日野川・皆生海岸流砂系の過去約 400 年間の環境変遷を推定した。侵食域では 17 世紀から「かなな流し」による急激な海岸線の前進があり、20 世紀初めのかんな流し終了に伴ない海岸侵食が始まった。堆積域では砂州の前進に起因する堆積速度の増大が認められた。

1. はじめに

皆生海岸は、鳥取県西部米子市から境港市まで延びる日本有数の砂州、弓ヶ浜半島に位置する砂浜海岸である。皆生海岸の白砂青松の景観は主に中国山地の花こう岩起源の土砂により形成されている。このことから、皆生海岸形成に日野川が大きく関わっていることが示唆される。皆生海岸では、大正時代から海岸侵食が始まり、1947 年に鳥取県によって対策委員会が設置された。しかし 1971 年に着手された離岸堤群が 1982 年に完成するまで海岸侵食は続き、汀線が最大で 300 m 後退したとも言われている。

長期的かつ効率良く海岸を保全するためには、海岸の土砂動態を明らかにし、長期的な変遷過程を解明する必要がある。そのためには、日野川・皆生海岸流砂系の全体的な環境およびその変遷を明らかにしなければならない。堆積物組成と放射年代を組み合わせた研究は、阿部ら (2003) や福山ら (2003)、三浦ら (2003) のものがあるが、本研究ではより長いコアを用いて、粒度分析・鉱物組成分析・花粉分析と炭素-14 (^{14}C) や鉛-210 (^{210}Pb) を用いた放射年代測定を組み合わせ、日野川・皆生海岸流砂系の過去 400 年間の環境変遷を推定した。また、環境変遷の推定のために、日野川水系、皆生海岸汀線および沿岸海域でこれまでに採取された表層堆積物についても考察を行なった。

2. 地域概説

江戸時代以降の弓ヶ浜半島の変化について、貞方 (1996) は「かなな流し」に伴い排出される鉄滓粒が「外浜」の堆積層中に普遍的に含まれること等から、弓ヶ浜半島の「外浜」が江戸時代以降に顕著に拡大したことを示した。一方、現在では日野川からの碎屑物供給減少の

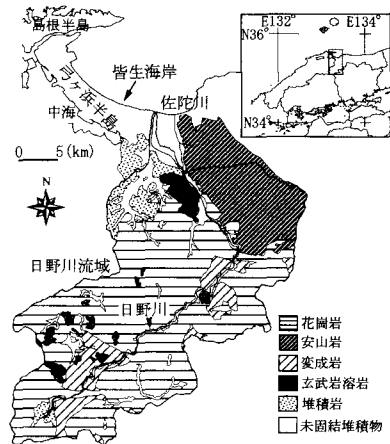


図-1 日野川流域地質図 (鳥取県, 1966 より改変)

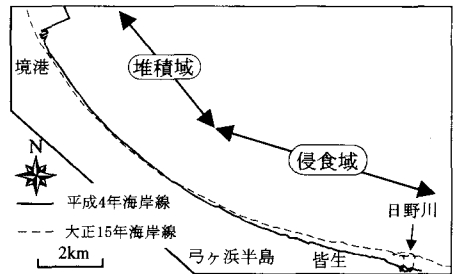


図-2 侵食域と堆積域 (大正 15 年と平成 4 年地形図を比較)

ため、弓ヶ浜半島は侵食傾向が強くなっている (宇多, 1997)。日野川流域は上流域に中国山地の花こう岩が広く分布し、下流域には安山岩が広く分布して (図-1)、この 2 つの地域が日野川への主な碎屑物供給源となっている。

3. 調査・試料採取方法

本研究では、新旧の地形図比較から、海岸線が後退している地域を「侵食域」、前進している地域を「堆積域」として述べる (図-2)。

侵食域である日野川河口部と堆積域である境港近傍で

* 学生会員 修(理) 愛媛大学大学院理工学研究科環境科学専攻
** 元国土交通省日野川河川事務所工務課課長
*** 正会員 博(工) 大阪市立大学助教授 大学院理学研究科
**** 博(理) 復建調査設計(株) 東京支社地質部
***** 理 博 愛媛大学教授 沿岸環境科学研究センター

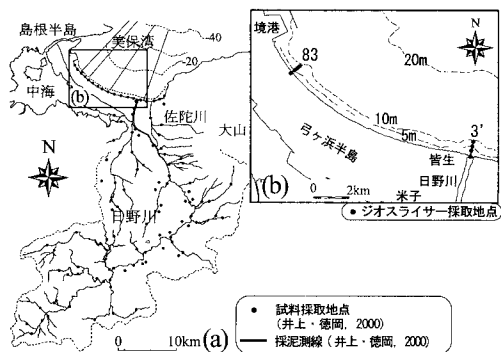


図-3 試料採取地点 (水深は海上保安庁, 1992より改変)
(a)日野川流域・皆生海岸および美保湾 (井上・徳岡, 2000), (b)ジオスライサー採取地点

ジオスライサーによって採取された計8本の堆積層から、約600個の不攪乱試料を採取し、堆積環境変遷を推定した。また、現在の堆積環境を明らかにするため、これまでに日野川・皆生海岸・美保湾で計460個の表層堆積物を採取し検討した(井上・徳岡, 2000; 井上ら, 2002)。それぞれの採掘点を図-3に示す。

(1) 表層堆積物採取 (井上・徳岡, 2000; 井上ら, 2002)

日野川で96試料, 皆生海岸の汀線付近で18試料を採取した(図-3(a))。美保湾では4測線を設定し、深度1m毎に160試料, さらに美保湾全域では緯度経度0.5分間隔で196試料を採取した(図-3(a), 井上・徳岡, 2000; 井上ら, 2002)。

(2) 皆生海岸ジオスライサー地層採取

侵食域(日野川河口)と堆積域(境港域)を代表する2測線において、海浜と沿岸海域でジオスライサー(原口ら, 1998)を用いて地層を採取した(図-3(b))。なお、

ジオスライサーによる採取の詳細は原口ら(2004)で報告される。

侵食域の3'測線で3'R 21 (1.85 m: 採取地点標高), 3'-1 (-3.80 m), 3'-2 (-5.37 m), 3'-3 (-7.85 m)の計4点, 堆積域の83測線で83 R 126 (0.79 m), 83-1 (-3.51 m), 83-2 (-5.47 m), 83-3 (-7.82 m)の計4点で採取された地層は、それぞれ頂部から5 cm毎に採取し、分析用試料とした。粒度分析および鉱物組成分析を、それぞれ20 cmおよび40 cm間隔で行なった。また、両測線の最も沖側の2つのコアにおいて比較的泥分が多い層準を選定し、2.5 cm毎に分割し、²¹⁰Pb法堆積速度測定用の試料とした。一方、放射性炭素年代測定用試料として、主に泥質層中に含まれる現地生と判断される二枚貝を採取し、また、砂質層の年代を知るために、いくつかの試料で有孔虫を抽出した。

4. 分析方法

表層堆積物については粒度分析および鉱物組成分析を行い、ジオスライサー採取試料については粒度分析、鉱物組成分析、²¹⁰Pb法堆積速度測定、放射性炭素年代測定および花粉分析を以下に行なった。

(1) 粒度分析

約600試料について、ふるい分法により粒度分析を行なった。測定手順は以下の通りである。200 g程度を測定用試料とし、恒温乾燥機で一昼夜90度で乾燥、秤量し、0.044 mm (4.5 φ)のふるい上で泥の一部を洗い流し、再び恒温乾燥機で一昼夜乾燥させる。つぎに乾燥重量を秤量し、8 mmから0.044 mmまでふるい分けを実施した。その後、電子天秤で重量を秤量し、粒度組成、中央粒径および淘汰度を求めた(公文・立石, 1998)。ふるい分け後の試料はビニール袋に入れ粒径区分毎に保存した。

(2) 鉱物組成分析

約300試料の分析を実施した。ふるい分けを行なった各試料について、0.25 mm~0.35 mm径の粒子について分析を行うこととした。四分法により、試料が適量になるまで分割し、双眼実体顕微鏡下で観察した。碎屑物は

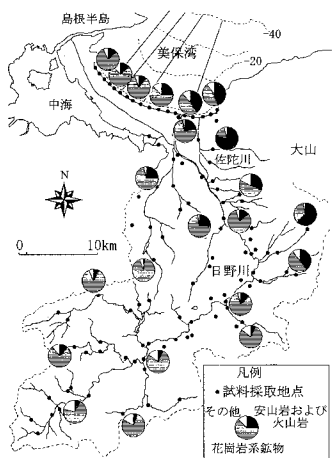


図-4 鉱物組成分析結果 (井上・徳岡, 2000)

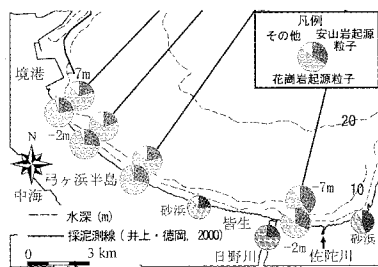


図-5 鉱物組成分析結果(美保湾沿岸海域, 井上・徳岡, 2000)

主に花こう岩と安山岩からなる後背地からもたらされるため、この二つの量比を明らかにすることを目的に、花こう岩片、花こう岩系鉱物（石英・長石・雲母）、安山岩片、安山岩系鉱物（角閃石・輝石）、その他に区分した。また、貞方（1996）を参考にして、鉄滓粒が砂層中にどれだけ存在するかについても検討した。

(3) 鉛-210法による堆積速度測定

「鉛-210法」は鉛同位体の堆積物中濃度の減衰を利用した堆積速度測定法である。大気中にある鉛-210 (^{210}Pb) は、雨滴に取り込まれたり、直接粒子として降下することによって地表に堆積する。この絶対量は場所毎に異なるが、場所毎の年間付加量は一定であったと仮定して、 ^{210}Pb の濃度の減衰状態から堆積速度を推定する。 ^{210}Pb の半減期は約 22 年であるので、その 5 倍程度の約 100 年間の堆積速度測定が可能である（金井ら、1995）。

本研究では両測線の最も沖側の 2 本のコアにおいて計 11 試料の分析を実施した。γ線の測定はセイコーEG&G スパースグラフィック MCA（検出器は ORTEC 社製ゲルマニウム半導体検出器 GMX 25 P）により行なった。試料の前処理として測定用容器内を放射平衡状態にするために、容器封入後約 1 ヶ月保管し、試料の測定時間は約 2 日間とした。

(4) 放射性炭素 (^{14}C) による年代測定

二枚貝試料 6 個、有孔虫試料 4 個について加速器質量分析計 (AMS) を用いた測定を行なった（株式会社パレオ・ラボに委託）。なお有孔虫試料 3 個については測定値を得るに至らなかった。

(5) 花粉分析

皆生海岸周辺地域では、約 1 万年前以降の花粉組成の変化が明らかにされており、室町時代以降にマツ属の花粉が、明治時代以降（ここでは 1930 年）にスギ属の花粉が増加することが知られている（大西、1993）。泥質の堆積層が卓越し、花粉化石が得やすい 83-3 では 20 cm 毎の分析を行い、他の地点では花粉組成の変化概要を知るために 50~100 cm 毎に分析を行なった（文化財調査コンサルタント株式会社に委託）。

5. 調査・分析結果および考察

(1) 表層堆積物

日野川流域で採取した試料は、上流域では花こう岩起源の碎屑物が卓越し、大山周辺からの支流では安山岩起源の碎屑物に富んでいる。日野川下流から河口域では上流部に比べ安山岩起源粒子が増加している。日野川河口域では安山岩起源粒子の含有率が 25% 程度で、花こう岩起源粒子が大きな割合を占めている（図-4、井上・徳岡、2000）。皆生海岸汀線部では、日野川以東では安山岩起源粒子含有量が 35~50% 程度であるのに対して、日野川以

表-1 放射性炭素年代測定結果

コア番号	試料採取深度	^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	補正 ^{14}C 年代 (yrBP $\pm 1\sigma$)	暦年代値 (中央値)
3'-2	598 cm	110 ± 25	510 ± 25	cal AD 1,820
3'-3	475 cm	145 ± 25	535 ± 25	cal AD 1,805
83-1	560 cm	70 ± 25	465 ± 25	cal AD 1,890 cal AD 1,940
83-1	890 cm	2,435 ± 30	2,850 ± 30	cal BC 720
83-2	689 cm	2,735 ± 30	3,125 ± 30	cal BC 935
83-3	160 cm	25 ± 25	425 ± 25	(現代)
83-3	295 cm	295 ± 25	715 ± 25	cal AD 1,620
83-3	530 cm	2,895 ± 30	3,310 ± 30	cal BC 1,210

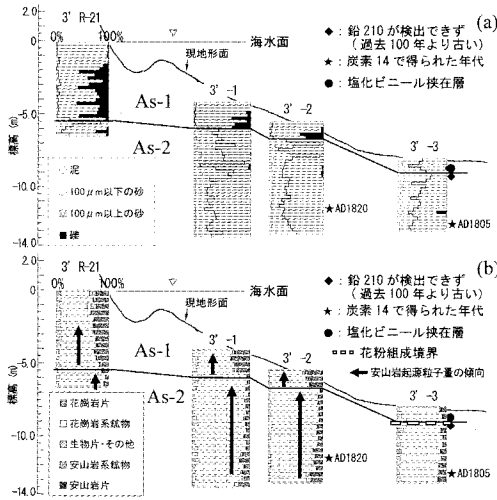
西（皆生海岸）では概ね 20% 以下となり、顕著な組成変化が認められる（図-4）。このことは、日野川河口まで運ばれた碎屑物の多くは海岸に沿って西へ運ばれ、日野川河口東では佐陀川からの大山由来の安山岩起源粒子が多くなることを示している。美保湾の底質についてみると、沿岸の水深 8 m までのには比較的粗粒な堆積物が分布し、これより深いところには、中央粒径値で 64~125 μm 径前後の堆積物が広く分布している（井上ら、2002）。このことから、本海域において 125 μm 以上の砂粒子の大部分は砂州の沿岸海域に沿って移動していると考えられる。4 測線上の水深 8 m までの試料の鉱物組成もそれぞれ近接した海岸の地点の組成と良く似ていることから、水深 8 m までは海岸域と同一の流砂系をなしていると考えられる。ここでは代表して -2 m、-7 m の結果を示す（図-5、井上・徳岡、2000）。

(2) 皆生海岸ジオスライサー地層試料

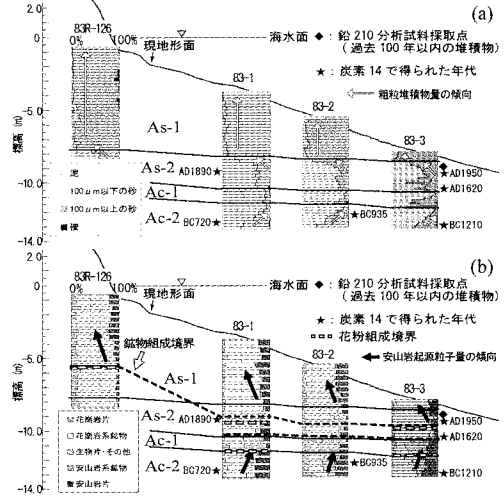
a) 3'測線（日野川河口侵食域）

粒度プロファイルから、堆積層は As-1、As-2 の 2 つに区分できる（図-6(a)）。As-1 は極粗粒砂で厚さが 2 m 程度で、As-2 は極細粒砂以下の碎屑物を多く含み淘汰が悪い。As-1 は礫サイズの碎屑物が多数含まれ細粒碎屑物が少ないことから、洪水により供給され、その後侵食を受け細粒部が洗い出された残留堆積物である可能性が高い。As-2 には淘汰の悪い堆積物が多く認められることから、この時期に、大規模な洪水堆積物が頻りに供給され堆積することによって急激に海岸線が前進したことが推定される。放射性炭素年代は 3'-2 の上から 598 cm の層準で A.D. 1820 (中央値で示す、以下同じ)、3'-3 では 475 cm の層準で A.D. 1805 の年代が得られた（表-1、図-6）。 ^{210}Pb 法による堆積速度の測定は 3'-3 の 90~120 cm の間の 6 試料で試みたが、 ^{210}Pb が検出されなかったことから AS-2 が少なくとも過去 100 年間よりも古い堆積物であることが示唆される。一方、3'-3 の As-1 の粗粒堆積物層の下部に塩化ビニール片が挟まれているのが確認されたことから、As-1 は第二次世界大戦以後に形成されたと推定できる。

鉱物組成は上位の As-1 は安山岩起源粒子含有量が比



図一六 日野川河口域堆積物分析結果断面 (3'測線)
(a) 粒度分析結果断面, (b) 鉱物組成分析結果断面



図一七 境港地域堆積物分析結果断面 (83 測線)
(a) 粒度分析結果断面, (b) 鉱物組成分析結果断面

較高いのに対して, As-2 は安山岩起源粒子含有量は極めて低く, As-1 と As-2 で顕著な違いが認められた(図一六(b)). As-1 で安山岩起源粒子の含有量が現在と同程度となることから現在の環境で堆積したものであると考えられ, As-2 では花こう岩起源粒子の割合が高いことから, 「かなな流し」に伴う堆積物であると考えられる. また花粉分析および鉄滓粒の検討の結果も以上の結果と調和的である.

b) 83 測線 (境港堆積域)

粒度プロファイルから, 堆積層は上位より, 粗粒層 (As-1), 上部粗粒化層 (As-2), 細粒層 (Ac-1), 上部細粒化層 (Ac-2) の 4 つの堆積層に区分される (図一七(a)). As-2 は粒度プロファイルでは細粒層と上部粗粒化層の 2 つに細分される可能性もある. Ac-2 は約 12 m 以深, Ac-1 は 11 m 以深に分布し, その上位に As-2 が約 2 m の厚さで覆う. さらにその上位の As-1 は深度 9 m から現海底面までの堆積層である. 放射性炭素年代測定は 6 層準で行われ, 83-1 の 560 cm で A.D. 1890, 890 cm で B.C. 720 の値を得た. また, 83-2 の 689 cm で B.C. 935 の年代値を, 83-3 では 160 cm で「現在」, 295 cm で A.D. 1620, 530 cm で B.C. 1210 の年代値を得た (表一, 図一七). また, ²¹⁰Pb 法による堆積速度は, 83-3 の 90-130 cm の間で検出され (図一八), 130 cm より上位の堆積層は少なくとも過去 100 年よりも新しいものであると推定できる. この結果は炭素年代で得られた値 (83-3 の海底面から 160 cm で「現在」) と調和的である. 以上のデータから, As-1 は「かなな流し」終了以降, As-2 が「かなな流し」開始から終了以降の堆積物に対応し, Ac-1 および Ac-2 が「かなな流し」開始以前に対応すると考えられ

る. また花粉分析および鉄滓粒の検討の結果も以上の結果と調和的である. 83-3 において, As-1, As-2, Ac-1 のそれぞれの堆積速度を求めると, Ac-1 が 0.8 cm/年, As-2 が 2.4 cm/年, As-1 が 4.8 cm/年となり, 堆積速度の増大が認められる. また, それぞれの堆積層境界は全てのコアで標高がほぼ同程度となることから, 粒度プロファイルの変化は堆積場の変化を示し, ここでは砂州の前進と対応すると考えられる. これに対し, 鉱物組成では安山岩起源粒子含有量から, 大きく 3 つに堆積層を区分することが出来る (図一七(b)). 安山岩起源粒子含有量は, 下部層では高く, 中部層で低くなり, 上部層に向かい再び高くなっている. 現在の海岸の堆積物では安山岩起源粒子が 20% 程度含まれていることから, 中部層でその割合が低いのは花こう岩起源の粒子が過剰に供給された時代, つまり「かなな流し」が行われていた期間の堆積物であると推定できる. この鉱物組成分析結果と放射性炭素年代から, 3 つの堆積層は, 下位から「かなな流し」開始以前の堆積物, 「かなな流し」に伴う堆積物, 「かなな流し」終了後の堆積物であると推定できる.

鉱物組成で示される下部層と中部層の境界は, 粒度による境界 (Ac-1 と As-2) とほぼ同標高を示すが, 中部層と上部層の境界は粒度による境界 (As-2 と As-1) と斜交する. 同様の傾向は花粉組成分析結果においても認められることから, 鉱物組成で得られた堆積層境界は等時間面を示す可能性が高い.

侵食域と堆積域の堆積層の検討から以下のことが考えられる.

堆積域では堆積層と等時間面との斜交が認められたが, 侵食域ではこの斜交関係が認められなかった. 侵食

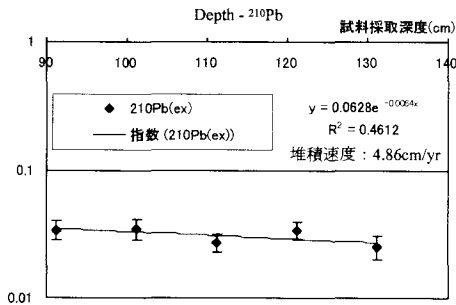


図-8 83-3 試料における ^{210}Pb 放射能深度と堆積速度

域では、「かなな流し」(17~20世紀初め)に伴ない堆積したAs-2が、「かなな流し」終了以降に侵食によって削られ、その上にAs-1が堆積した。このために、両堆積層の間には大きな時間間隙が生じ、侵食域では堆積層と等時間面の斜交関係が現れなかったと考えられる。このように、堆積物組成と年代を組み合わせることにより、詳細な長期的環境変遷が推定できる。

侵食域の堆積物の淘汰が悪いのに対して堆積域の堆積物の淘汰が良いことから、侵食域で削られた土砂は、沿岸漂砂系により運ばれる過程で $125\ \mu\text{m}$ 径以下の粒子が沖合へ排出され、ふるい残された粒子が沿岸海域に堆積していることが明らかになった。これより土砂収支を考える際、侵食域と堆積域の粒度組成を考慮に入れることが重要となる。

6. まとめ

日野川・皆生海岸流砂系において採取した表層堆積物とジオスライサー試料について粒度分析・鉱物組成分析・花粉分析と炭素-14や鉛-210法を用いた放射年代測定的手法を用い過去400年間の環境変遷について調べた。これらの結果から以下のことが推定される。

1. 現在の日野川河口域では大山からの安山岩系鉱物粒子が25%程度を占め、それ以外は花こう岩系鉱物が大きな割合を占める。皆生海岸汀線付近の堆積物は日野川河口の鉱物組成を反映した組成をしており、沿岸の水深8mまでの表層堆積物はこれと類似しているため、この水深までの海域は、日野川・皆生海岸流砂系に含まれると考えられる。
2. ジオスライサー調査の結果、日野川河口侵食域(3'測線)では堆積層が2区分される。年代値から下位が17世紀から20世紀初めの「かなな流し」により堆積し、上位が「かなな流し」終了以降に堆積したものである。下位の堆積物は淘汰が悪いことから、大規模な洪水堆積物(土石流堆積物)の可能性が高く、急激な海岸線の前進による堆積とその後の侵食が明らかにされた。一方、境港堆積域(83測線)では堆

積層が4つに区分され、上位に行くにつれ砂州の前進に起因する堆積速度の増大が認められる。以上より堆積物組成と年代を組み合わせることにより長期的環境変遷が推定可能である。

3. 地域的な特徴や時代背景を考えることにより、鉱物組成や花粉組成により堆積層に年代目盛りが入る可能性がある。
4. 侵食域では堆積物の淘汰が悪いのに対して堆積域では堆積物の淘汰が良い。このことから、侵食域から流出した土砂は、輸送過程で極細粒砂以下の粒子が沖合へ排出され、ふるい残された粒子が沿岸海域に堆積していることが明らかになった。このことより土砂収支を考える際、粒度組成を考慮に入れる必要があることが示された。

謝辞: 徳岡隆夫島根大学名誉教授には、本研究を進めるにあたり色々ご討論頂いた。文化財調査コンサルタント株式会社渡邊正巳氏には花粉層序についてのご意見を頂いた。愛媛大学工学部助教授伊福誠氏には本稿を執筆するにあたり、数々の改善すべき点をご教示頂いた。以上の方々に記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 阿部真人・佐藤慎司・磯辺雅彦(2003): 駿川・勿来海岸流砂系における土砂動態の長期的変遷に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 561-565.
- 井上卓彦・塩藤藤彦・為孝克章・井内美郎・徳岡隆夫(2002): 日野川-弓ヶ浜砂洲-美保湾における碎屑物の移動と堆積, 第12回環境地質学シンポジウム論文集, pp. 433-438.
- 井上卓彦・徳岡隆夫(2000): 日野川-弓ヶ浜砂洲-美保湾の碎屑物の移動と堆積過程, 日本地質学会第107年学術大会講演要旨, pp. 258-258.
- 宇多高明(1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, 442 p.
- 大西郁夫(1993): 中海・宍道湖周辺地域における過去2000年間の花粉分帯と植生変化, 地質学論集, 39巻, pp. 33-39.
- 海上保安庁(1992): 5万分の1沿岸海の基本図, 海底地形地質調査報告, 美保湾, 53 p.
- 金井豊・井内美郎・片山肇・齊藤文紀(1995): Pb 210, Cs 137法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積り, 地質調査月報, 46巻, 5号, pp. 225-238.
- 公文富士夫・立石雅昭編(1998): 新版碎屑物の研究法, 地学団体研究会, 399 p.
- 貞方昇(1996): 中国地方における「かなな流し」による地形環境変貌, 溪水社, pp. 173-195.
- 鳥取県(1966): 10万分の1鳥取県地質図および同説明書, 109 p.
- 原口強・中田高・島崎邦彦・今泉俊文・小島恵二・石丸恒存(1998): 未固結堆積物の定方位連続地層採取方法の開発とその応用, 応用地質, 39巻, pp. 306-314.
- 原口強・米田明徳・五十嵐風夫・井上卓彦・井内美郎(2004): 地層解析による皆生海岸の侵食・堆積過程, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 576-580.
- 福山貴子・松田武久・佐藤慎司・田中晋(2003): 湘南海岸流砂系の土砂動態と相模川河口地形の変化, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 576-580.
- 三浦一浩・川元壤二・鳥居謙一・山本幸次(2003): 重鉱物分析と放射年代測定の組み合わせによる住吉海岸の堆積環境の推定, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 566-570.